

저압직류 배전계통의 고장응답 특성 분석

An Analysis on Fault Response Characteristics in Low Voltage DC Distribution System

노철호* · 권기현* · 송종일* · 한준* · 오윤식* · 김철환†

(Chul-Ho Noh · Gi-Hyeon Gwon · Jong-Il Song · Joon Han · Yun-Sik Oh · Chul-Hwan Kim)

Abstract - DC-based power system is paid attention as interests in energy efficiency and power quality are increased. However, standardization and researches for commercializing Low Voltage DC(LVDC) distribution system are still insufficient. Protection system, which is closely related with reliability, power quality, safety, and life expectancy of components in power system, is also included. This paper therefore analyzes fault response characteristics in LVDC distribution system as a preliminary study on protection schemes. A stepwise analysis on fault current from both AC/DC converter and DC/DC converter is performed and related expressions are derived. And then, modeling and simulation with various conditions are conducted by using ElectroMagnetic Transients Program (EMTP) to verify analysis results. Based on research results in the paper, direction for development of protection schemes for LVDC distribution system is suggested.

Keywords : Low voltage distribution system, Fault response characteristics, Power converter

1. 서론

본 연구에서는 저압직류 배전계통에 대한 신뢰성 있는 보호 시스템 구축을 위한 기초 연구로 고장응답 특성에 대한 면밀한 분석을 수행하였다. 특히 저압직류 배전계통의 구성 측면에서 기존 교류계통과는 달리 전력변환기기가 필수적으로 요구된다는 점에 초점을 맞추어 진행하였다. 기존의 연구 [2-5]에서는 AC/DC 컨버터의 동작특성만을 고려하여 직류계통의 고장응답 특성을 분석하였다. 하지만 저압직류 배전계통의 경우 다수의 부하군을 포함하기 때문에 부하 측에 존재하는 DC/DC 컨버터에 대한 추가적인 고려가 요구된다. 이를 위하여 2장에서는 저압직류 배전계통의 구조 및 개념을 설명하고, 3장에서는 각 전력변환기기를 고려한 고장응답 특성 분석이 수행된다. 4장에서는 이를 검증하기 위하여 Electro-Magnetic Transients Program(EMTP)를 이용한 시뮬레이션을 수행하고, 이를 통해 추후 구축할 저압직류 배전계통의 보호시스템에 대한 간략한 방향을 제시한다. 마지막으로 5장에서는 본 논문에서 수행된 저압직류 배전계통에 고장 발생 시 전력변환기기의 구조 및 동작을 고려한 고장응답 특성 분석에 대한 결론을 나타낸다.

2. 저압직류 배전계통의 구조 및 개념

저압직류 배전계통은 전력회사로부터 송·배전을 통해 받은 교류 전압을 직류 전압으로 변환하는 AC/DC 컨버터, 이를 수용가 측으로 전달하는 배전선로, 전달된 직류 전압을 수용가에서 요구하는 적정 전압으로 변환시켜주는 DC/DC 컨버터, 그리고 부하군으로 구성되어 있다. 저압직류 배전계통의 개념도는 그림 1과 같다.

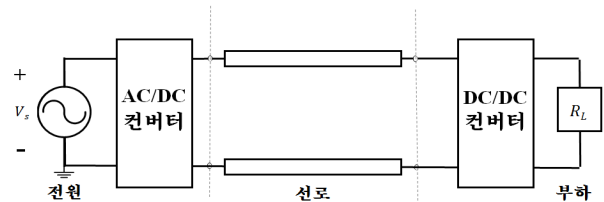


그림 1 저압직류 배전계통의 개념도

Fig. 1 The conceptual diagram of LVDC distribution system

본 연구에서 구성한 저압직류 배전계통은 3상 AC/DC 컨버터와 Buck DC/DC 컨버터를 적용하였으며, 그 회로도도 각각 그림 2와 그림 3에 나타나 있다. 두 전력변환기기는 해당 역할을 수행하기 위하여 다양한 방식으로 제어되는 반도체 스위치를 포함하고 있는데, 이는 외부 고장 발생 시 자기 보호를 위하여 빠르게 차단되고 병렬 연결된 역병렬 다이오드가 도통된다[6]. 또한 AC/DC 컨버터의 출력단 및 DC/DC 컨버터의 입력단에는 계통 운영 시 충전되어 있는 커패시터가 존재하는데, 이는 선로 고장 발생 시 빠르게 방전된다[6]. 저압직류 배전계통은 이와 같이 전

† Corresponding Author : Dept. of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University, Korea
E-mail : hmwkim@hanmail.net

* Dept. of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University, Korea

Received : January 6, 2016; Accepted : May 4, 2016

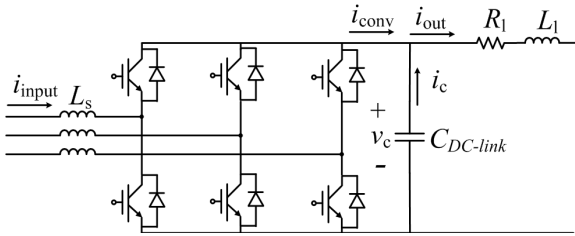


그림 2 3상 AC/DC 컨버터의 회로도

Fig. 2 Circuit of three-phase AC/DC converter

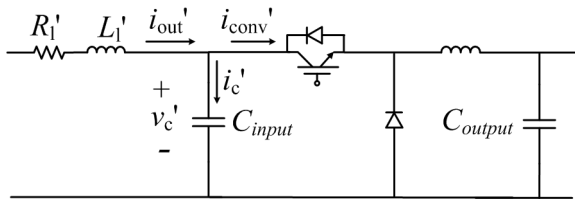


그림 3 Buck DC/DC 컨버터의 회로도

Fig. 3 Circuit of Buck DC/DC converter

력변환기 동작에 따라 기존 계통과는 다른 고장응답 특성을 나타낸다.

3. 저압직류 배전계통의 고장응답 특성 분석

본 장에서는 저압직류 배전계통의 선로에 고장이 발생한 경우 각 전력변환기의 동작을 고려하여 고장응답 특성을 분석한다. 이를 위하여 고장발생 시점부터 고장발생 이후 새로운 정상상태에 도달하는 시점까지 각 전력변환기의 동작에 따라 고장전류 파형을 단계적으로 구분하고 관련 식을 유도한다. 이는 AC/DC 컨버터와 DC/DC 컨버터 각각에 대하여 수행된다.

3.1 AC/DC 컨버터 측면의 저압직류 배전계통 고장응답 특성 분석

AC/DC 컨버터 측면에서 저압직류 배전계통의 고장전류는 AC/DC 컨버터의 동작 특성에 따라서 (a) DC-link 커패시터 방전 단계와 (b) 역병렬 다이오드 도통 단계로 구분할 수 있다.

(a) 단계에서는 선로고장 발생 시 반도체 스위치가 자기 보호를 위하여 빠르게 개방되며[6], 충전되어 있던 DC-link 커패시터가 방전을 시작하면서 선로 측으로 전류를 보낸다. 커패시터가 방전하는 동안에는 그림 4와 같이 DC-link 커패시터 앞단이 격리되기 때문에, 고장루프는 RLC 직렬회로로 나타난다. 따라서 해당 고장전류는 식 (1)과 같이 RLC 직렬회로의 저감쇠 전류의 형태로 유도가능하다[7]. 해당 고장전류는 계통구성 및 고장조건에 따라서 과감쇠 형태를 나타낼 수 있다. 단, 식 (1)은 커패시터 방전 완료 이후 (b)단계가 시작하는 시점 t1까지만 유효하다.

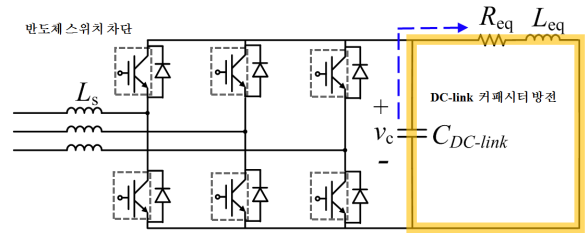


그림 4 DC-link 커패시터 방전에 의한 고장전류 흐름

Fig. 4 Flow of fault current by discharge of DC-link capacitor

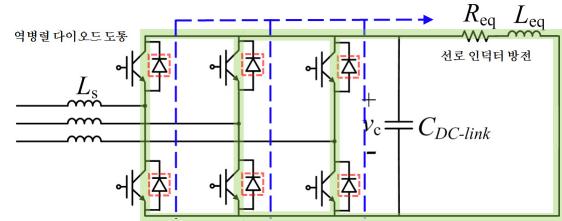


그림 5 선로 인덕터 방전에 의한 고장전류 흐름

Fig. 5 Flow of fault current in by discharge of line inductor

$$i_{out(a)}(t) = e^{-(R_{eq}/2L_{eq})t} \sqrt{I_0^2 + B^2} \sin(\omega_d t + \theta) \quad (1)$$

여기서, $B = (2V_C - R_{eq}I_o)/2L_{eq}\omega_d$

$$\omega_d = \sqrt{(L_{eq}C)^{-1} - (R_{eq}/2L_{eq})^2}$$

I_o : 초기 전류

DC-link 커패시터 전압이 교류입력전원보다 낮아지면, 반도체 스위치의 역병렬 다이오드가 도통되면서 (b)단계가 시작된다. 이는 일반적으로 고장 발생 이후 수 [ms] 정도 이후에 발생하며, DC-link 커패시터의 용량이 (b) 단계로 진입하는 시간에 직접적으로 영향을 미친다. 또한 고장위치나 고장저항 등과 같이 (a) 단계에서 형성되는 고장루프 임피던스에 영향을 미칠 수 있는 요소들에 의해서 결정된다. (b) 단계에 진입하면 선로의 인덕터가 역병렬 다이오드를 통해 방전하고, AC/DC 컨버터는 6펄스 다이오드 정류기로 동작하면서 공급 전원이 재개된다. 인덕터에 의한 방전전류는 RL 직렬회로의 자연응답인 식 (2), 공급전원에 의한 고장전류는 RL 직렬회로의 계단응답인 식 (3)과 같으며[7], 각각 그림 5와 그림 6으로 나타낼 수 있다.

$$i_L(t) = -I_{Lo} e^{-(R_{eq}/L_{eq})(t-t_1)} \quad (2)$$

여기서, I_{Lo} : 인덕터의 초기 전류

$$i_{out(b)}(t) = \frac{V_s}{R_{eq}} + (i_{out(a)}(t_1) - \frac{V_s}{R_{eq}}) e^{-(R_{eq}/L_{eq})(t-t_1)} \quad (3)$$

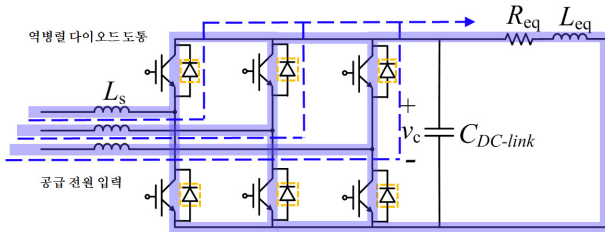


그림 6 공급 전원 입력에 의한 고장전류 흐름
 Fig. 6 Flow of fault current contributed by input source

여기서, t_1 : 다이오드가 도통된 시점
 V_s : 다이오드 정류기에 의해 정류된 입력전원

식 (1)의 고장전류는 B 를 통해 상시전류 및 방전 이후의 고장 전류에 비해 매우 큰 값을 가짐을 알 수 있으나, 커패시터의 방전기간 동안에만 발생하기 때문에 지속 시간이 수 [ms]정도로 매우 짧다. 반면, 식 (2)와 식 (3)의 고장전류 크기는 식 (1)에 비해 작으나 AC/DC 컨버터 내부의 역병렬 다이오드를 통해서 흐르기 때문에 다이오드의 손상을 야기할 수 있기 때문에 계통 운영 측면에서 더욱 위험도가 높다. 따라서 저압직류 배전계통에 선로고장이 발생한 경우 식 (2)의 고장전류가 다이오드를 통해 흐르기 이전에 차단이 요구된다.

3.2 DC/DC 컨버터 측면의 저압직류 배전계통 고장응답 특성 분석

본 절에서는 3.1절에서 기수행된 내용과 마찬가지로 DC/DC 컨버터의 동작특성에 따라 (a) DC-link 커패시터 방전 단계와 (b)역병렬 다이오드 도통 단계로 나누어 고장전류를 분석하였다. 단, 입력 측에 의한 영향을 배제하기 위하여 고장 발생 직후 AC/DC 컨버터 출력단의 Solid-State Circuit Breaker(SSCB)가 동작함을 가정하였다.

DC/DC 컨버터 측면에서도 AC/DC 컨버터 측면과 마찬가지로 선로고장 발생 직후, 반도체 스위치는 자기 보호를 위하여 빠르게 개방되며 충전되어 있던 입력 커패시터는 선로 측으로 방전전류를 내보낸다. 따라서 (a) 단계의 고장 전류는 식 (1)과 마찬가지로 RLC 직렬회로의 저감쇠 전류의 형태를 나타낸다. 해당 고장전류는 식 (4)와 같으며, 전류흐름은 그림 7에 나타나 있다. 하지만 DC/DC 컨버터 측면의 고장전류는 (b) 단계에서 AC/DC 컨버터 측면과 달리 역병렬 다이오드를 통해 흐르는 전류가 발생하지 않는다. 대신에 식 (4)의 고장전류가 고장루프를 통해 흐르고 수 [ms] 이내에 소멸된다. 따라서 AC/DC 컨버터 측면의 고장전류와는 달리 신속한 차단이 요구되지 않는다. 또한 DC/DC 컨버터 측면의 고장전류는 오직 입력단 커패시터에 의해 발생하기 때문에 SSCB의 차단유무에 상관없이 지속된다.

$$i_{out}'(t) = -e^{-(R_{eq}'/2L_{eq}')t} \sqrt{(I_o')^2 + B^2} \sin(\omega_d' t + \theta) \quad (4)$$

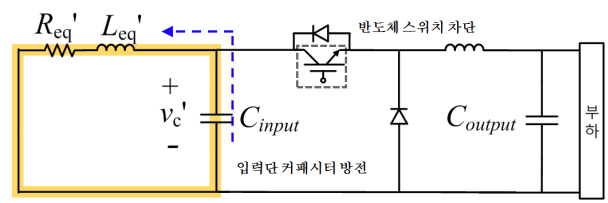


그림 7 입력단 커패시터 방전에 의한 고장전류 흐름
 Fig. 7 Flow of fault current by discharge of input capacitor

여기서, $B = (2V_C' - R_{eq}'I_o')/2L_{eq}'\omega_d'$
 $\omega_d' = \sqrt{(L_{eq}'C_{input})^{-1} - (R_{eq}'/2L_{eq}')^2}$
 I_o' : 초기 전류

4. 시뮬레이션을 통한 검증

본 장에서는 EMTP를 이용한 시뮬레이션을 통해 3장에서 수행된 저압직류 배전계통의 고장응답 특성 분석 결과를 검증한다. 이를 위하여 모델링된 모의 계통을 통해 전력변환기에 따른 고장전류 파형 분석 및 계통모의 조건에 따른 고장응답 특성의 분석을 수행한다. 또한 검증된 내용을 바탕으로 추후 구축될 저압 직류 배전계통의 보호 시스템에 대한 간략한 방향을 제시한다.

4.1 모의계통

본 절에서는 EMTP를 이용하여 그림 1의 저압직류 배전계통의 선로에 고장이 발생한 경우에 대한 모델링을 수행하였다. 계통 모의조건은 표 1과 같다.

계통의 전압레벨은 표 1과 같이 가정되었으며, 선로정수 파라미터는 참고문헌 [8]을 참조하였다. 또한 저압직류 배전계통의 고장응답 특성을 명확하게 나타내기 위하여 부하용량은 한 가구 기준으로 설정하였으며, 선로 고장은 가장 빈번하게 발생할 수 있는 PTG고장과 계통에 가장 큰 고장전류를 야기하는 PTP고장을

표 1 모의계통의 시뮬레이션 조건
 Table 1 Simulation conditions of test system

파라미터	입력값		
전압	· 교류 입력전원 : 3상 380[VAC]		
	· 정류된 직류전압 : 단극성 1500[VDC]		
	· 부하 전압 : 380[VDC]		
선로	선로길이	600[m]	
	파라미터	R[Ω/km]	L[mH/km]
		0.164	0.26
부하	3[kW]		
고장	종류	PTG고장, PTP고장	
	고장저항	0.01/0.1/0.3/1[Ω]	
	고장점	10/30/50/70/90[%]	
	발생 시간	0.5[sec]	

고려하였다. 해당 모의계통의 고장점 및 선로정수를 가변하면서 다양한 시뮬레이션 조건을 바탕으로 3장에서 분석된 고장응답 특성을 검증하였다.

4.2 시뮬레이션을 통한 저압직류 배전계통의 고장응답 특성 분석 결과 검증

본 절에서는 3장에서 분석된 저압직류 배전계통의 고장응답 특성을 검증하기 위한 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 이는 고장전류 파형의 전력변환기 동작 특성에 따른 분석단계와 다양한 모의조건에 따른 고장응답 특성 분석단계로 분류된다.

4.2.1 고장전류 파형의 전력변환기 동작 특성에 따른 단계별 분석단계

본 단계에서는 3장에서 수행된 모의계통에 선로고장 발생 시 각 전력변환기의 동작특성에 의해 발생하는 고장전류 및 전력변환기 내부의 전류 흐름에 대한 분석결과를 검증한다.

- AC/DC 컨버터 측면 : 3장의 분석결과에 따르면 해당 고장전류는 DC-link 커패시터 방전에 의한 단계와 선로 인덕터 방전 및 입력전원에 의한 단계로 이루어져있다. 따라서 이를 검증하기 위해서 ①AC/DC 컨버터에서 출력되는 고장전류, ②AC/DC 컨버터 내부의 역병렬 다이오드에 흐르는 전류, 그리고 ③ DC-link 커패시터 전압을 측정하였고, 이를 그림 8에 나타내었다. 최초 0.5[sec]에 선로고장이 발생한 직후, DC-link 커패시터가 방전되기 시작하는 (a)단계가 나타난다. 이에 따라서 약 3100[A]의 매우 높은 크기의 고장전류가 AC/DC 컨버터의 출력단을 통해서 흐르게 되며, 이는 약 4[ms] 정도로 매우 짧게 지속된다. 그 후 DC-link 커패시터의 방전으로 커패시터 전압이 입력전원보다 낮아지면 역병렬 다이오드가 도통되는 (b)단계가 나타난다. (b)단계에서는 역병렬 다이오드에 순간적으로 선로 인덕터 방전에 의해서 약 850[A]의 높은 전류가 가장 먼

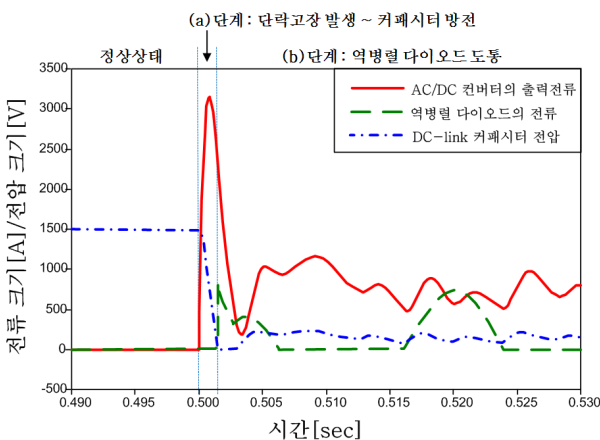


그림 8 AC/DC 컨버터 동작에 따른 고장전류
Fig. 8 Fault current by operation of AC/DC converter

저 흐르는 것을 관찰할 수 있는데, 이는 역병렬 다이오드에 큰 충격을 가하게 된다. 따라서 AC/DC 컨버터 측면의 고장전류는 (b)단계에 진입하기 이전에 차단이 이루어져야 한다. 또한 입력전원에 의한 전류 역시 역병렬 다이오드를 통해서 흐름을 확인할 수 있다. 이 때 입력전원에 의한 고장전류는 식 (3)과 정확하게 일치하지는 않는데, 이는 6펄스 다이오드 정류기를 통한 정류과정이 갖는 한계 때문이다.

- DC/DC 컨버터 측면 : 3장의 분석결과를 검증하기 위해 본 절에서는 계통 측의 SSCB를 0.503[sec]에 동작시키면서 ① DC/DC 컨버터의 입력단을 통해 흐르는 고장전류와 ②입력단 커패시터 전압을 측정하고 그림 9에 나타내었다. 선로고장이 발생한 직후, 입력단 커패시터가 방전되면서 약 2200 [A]의 크기를 갖는 고장전류가 흐른다. 고장전류의 크기가 AC/DC 컨버터의 DC-link 커패시터 방전에 의한 고장전류에 비해 작는데, 이는 DC/DC 컨버터의 입력단 커패시터 용량이 상대적으로 작기 때문이다. 또한 시뮬레이션 결과를 통해 3장의 분석결과와 같이 식 (4)의 파형이 커패시터 방전 이후에도 지속될 뿐만 아니라 전원 측의 SSCB의 동작유무와 상관없이 지속됨을 알 수 있다.

4.2.2 모의조건에 따른 고장응답 특성 분석단계

본 단계에서는 고장종류, 선로정수, 고장저항, 그리고 고장점을 가변시키면서 고장전류의 파형을 관찰함으로써 3장에서 도출한 고장전류 식을 검증함과 동시에 추후 구축할 저압직류 배전계통의 보호 시스템에 대한 방향을 제시한다.

- 고장종류에 따른 변화 : 모델링된 계통의 선로에서 PTG 고장 및 PTP 고장이 발생한 경우에 대하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 이를 그림 10에 나타내었다. 그림 10을 통해 고장종류를 제외한 다른 고장조건이 동일한 경우, 고장전류의 크기에는 차이가 있으나 고장 응답 특성이 매우 유사함을 확인할 수 있다. 이는 식 (1)과 식 (4)에서 각각 알 수 있듯이 고장종류에 따라 고장 루프 상의 등가 임피던스(R_{eq}, L_{eq}) 값이 달라지기 때문이다.

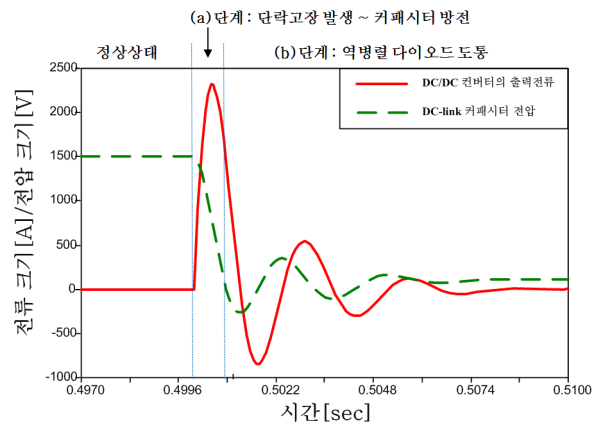
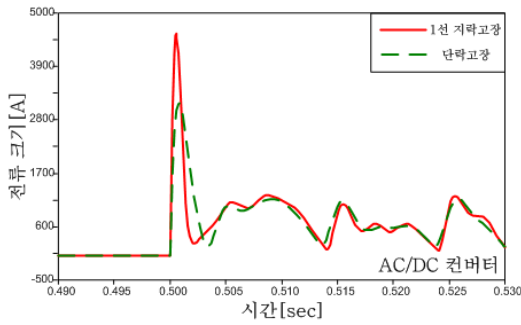
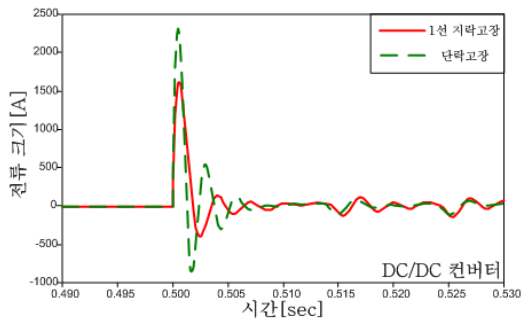


그림 9 DC/DC 컨버터 동작에 따른 고장전류
Fig. 9 Fault current by operation of DC/DC converter



(a) AC/DC 컨버터 측면



(b) DC/DC 컨버터 측면

그림 10 고장종류에 따른 저압직류 배전계통의 고장전류
 Fig. 10 Fault current in LVDC distribution system according to types of fault

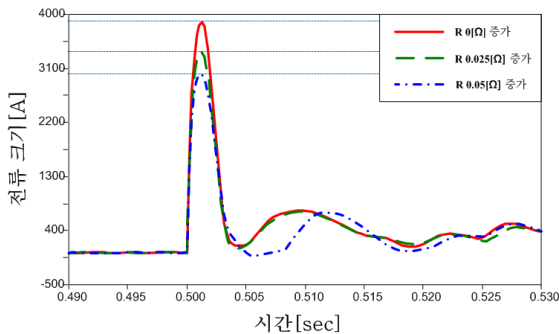


그림 11 선로저항에 따른 저압직류 배전계통의 고장전류
 Fig. 11 Fault current in LVDC distribution system according to line resistance

- 선로정수에 따른 변화 : 모델링된 계통 선로의 저항 및 리액턴스 변화에 따른 고장전류가 각각 그림 11과 그림 12에 나타나있다. 선로 정수에 따른 AC/DC 컨버터 측면 및 DC/DC 컨버터 측면의 고장전류는 동일한 특성을 나타내기 때문에 AC/DC 컨버터 측면의 고장전류만을 포함하였으며, 이는 3장에서 도출한 식 (1)과 식 (4)의 관계와 일치한다. 그림 11과 그림 12를 통해서 선로 임피던스가 증가함에 따라 고장전류의 크기는 감소함을 알 수 있으며, 이는 식 (1)에서 확인할 수 있다. 또한 선로 리액턴스의

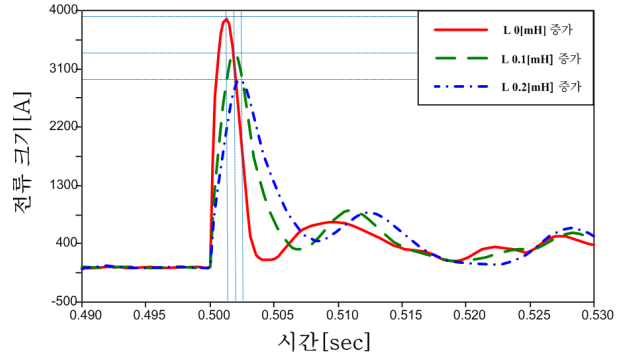


그림 12 선로리액턴스에 따른 저압직류 배전계통의 고장전류
 Fig. 12 Fault current in LVDC distribution system according to line reactance

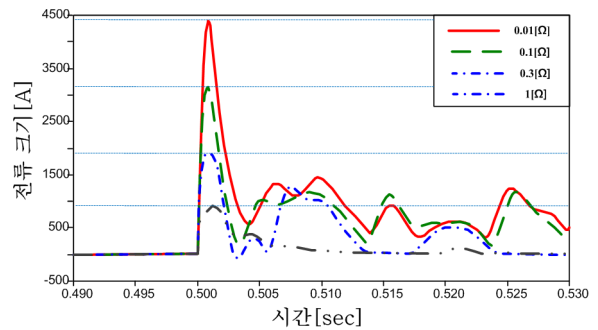


그림 13 고장저항에 따른 저압직류 배전계통의 고장전류
 Fig. 13 Fault current in LVDC distribution system according to fault resistance

증가는 추가적으로 고장전류의 상승시간을 증가시키는데, 이는 선로 리액턴스 증가에 따른 계통의 고유 주파수 감소로 인한 결과이다.

- 고장저항에 따른 변화 : 3장에서 수행된 저압직류 배전계통의 고장 응답 특성을 분석한 식들을 통해 고장저항과 선로저항은 등가저항(R_{eq})으로 동일하게 나타남을 알 수 있다. 따라서 고장 저항의 변화는 선로 저항과 마찬가지로 고장전류의 최대값에 영향을 미치며, 이는 그림 13을 통해 확인할 수 있다. 그림 13에서 고장저항의 증가로 고장전류의 최대값이 그림 11에서 보다 큰 폭으로 감소하였는데, 이는 고장저항의 변화량이 더욱 크기 때문이다.
- 고장점에 따른 변화 : 저압직류 배전계통의 고장점을 그림 1의 선로 상에서 10[%]에서 90[%]까지 가변하면서 고장전류를 관찰하였다. AC/DC 컨버터 측면에서는 고장전류 침투치와 인덕터 방전전류가 역병렬 다이오드에 흐르는 시점 t_{AC} 를, DC/DC 컨버터 측면에서는 고장전류의 침투치 및 그에 도달하는 시간 t_{DC} 를 표 2에 정리하였다. 시뮬레이션 결과에 따르면, 고장전류는 고장점이 전력변환기에 근접할수록 크기는 증가하고 과도기간(t_{AC} , t_{DC})은 감소하는 현상을 공통적으로 나타낸다. 이는 고장점이 가까워질수록 등가저항 및 등가리액턴스

표 2 고장점에 따른 고장전류의 첨두치 및 t_r
Table 2 Peak value and t_r according to fault location

고장 위치	AC/DC 컨버터		DC/DC 컨버터	
	첨두치 [A]	t_{AC} [ms]	첨두치 [A]	t_{DC} [ms]
10[%]	6769.0	0.80	1452.9	1.09
30[%]	4172.2	1.22	1744.9	0.58
50[%]	3151.3	1.51	2314.9	0.47
70[%]	2821.2	1.72	3156.4	0.41
90[%]	2760.1	1.93	5263.2	0.22

값이 감소하기 때문이며, 3장에서 도출된 고장전류 식과 동일한 결과를 나타낸다.

본 절에서는 3장에서 수행된 저압직류 배전시스템의 고장응답 특성 분석결과에 대한 검증은 수행하였으며, 이를 바탕으로 저압 직류 배전시스템의 보호 시스템 구축을 위한 방향 및 고려사항을 다음과 같이 제시한다.

- 저압직류 배전시스템에 선로고장 발생 시, AC/DC 컨버터 측면의 고장전류는 DC-link 커패시터 방전 직후 선로 인덕터 방전에 의해 역병렬 다이오드가 큰 손상을 입을 수 있으므로 신속한 차단이 요구된다.
- 커패시터 방전에 의해 발생하는 고장전류는 계통구성 및 고장 조건에 따른 응답특성이 매우 뚜렷하게 나타나기 때문에 신속한 고장검출을 위해서는 이에 대한 연구가 필수적이다.
- AC/DC 컨버터가 (b)단계에 진입하기 위한 시간은 차단기의 트립 요구시간과 직접적인 관계를 갖는다. 따라서 차단기의 정격을 낮추기 위해서는 (b)단계로의 진입시간을 증가시키기 위해서는 DC-link 커패시터의 용량 증가 혹은 계통에 직렬 리액터를 설치하는 방법 등이 존재한다.
- 저압직류 배전시스템의 DC/DC 컨버터 측면에서는 입력단 커패시터의 방전에 의해 식 (1)과 유사한 형태의 고장전류가 발생한다. 하지만, 이는 오직 수 [ms]동안만 지속될 뿐만 아니라, DC/DC 컨버터 내부의 역병렬 다이오드에 영향을 미치는 전류가 발생하지 않기 때문에 선로고장에 대해서는 추가적인 보호 기기의 설치가 요구되지 않는다.
- 선로임피던스 증가에 따른 시뮬레이션 결과를 통해 기존 교류 계통에 적용되는 한류 리액터를 이용한 고장전류 억제 방안은 저압직류 배전시스템의 고장전류 억제에도 유효함을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 저압직류 배전시스템의 선로에 고장 발생 시 고장응답 특성 분석을 위해 전력변환기기의 동작특성에 따른 단계별 고장전류 식을 도출하고, EMTP를 이용한 시뮬레이션을 통해

이를 검증하였다. 고장응답 특성 분석 결과에 따르면 저압직류 배전시스템의 고장전류는 (a) 전력변환기기 내부의 커패시터 방전 기간 동안의 고장전류와 (b) 방전 이후의 고장전류로 구분할 수 있다. (a) 구간의 고장전류는 매우 큰 크기를 가지고 단시간 동안 지속되며, 고장응답 특성이 계통구성 및 고장조건에 따라 뚜렷하게 나타난다. 이는 AC/DC 컨버터와 DC/DC 컨버터 모두에 동일하다. 반면에, (b) 구간에서는 각각 다른 형태를 나타낸다. DC/DC 컨버터 측면에서는 (a) 구간의 고장전류가 계속해서 나타나는 반면, AC/DC 컨버터 측면의 경우 선로 인덕터 방전전류로 인해 역병렬 다이오드에 큰 손상을 미칠 수 있기 때문에 빠른 차단이 요구된다. 추후 신뢰성 있는 저압직류 배전시스템의 보호 시스템 구축을 위해서는 이와 같은 고장응답 특성 분석 결과가 반드시 고려되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 이를 바탕으로 한 저압직류 배전시스템의 보호 시스템 구축을 위한 방향 및 고려사항이 제시되었다.

References

- [1] Ki-Bong Yeo, "Trends and Prospects of HVDC", Electrical Equipment, pp.20-27, 2012.6.
- [2] Jin Yang, "Fault Analysis and Protection for Wind Power Generation Systems", Ph.D. dissertation, Univ. of Glasgow, 2011.3.
- [3] M.M.Xu et al., "A Prony-based Method of Locating Short-Circuit Fault in DC Distribution System", 2nd IET Renewable Power Generation Conference, 2013.
- [4] Abdullah S. Emhemed, Graeme M. Burt, "Protecting the last mile - enabling an LVDC distribution network", University of Strathclyde, 2013.
- [5] Faults in LVDC microgrids with front-end converters, ABB technical application papers No.14, 2015.
- [6] Jin Yang et al., "Multiterminal DC Wind Farm Collection Grid Internet Fault Analysis and Protection Design", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.25, No.4, 2010.10.
- [7] James W. Nilsson, Susan A. Riedel, Electric Circuits, Pearson international edition, 2005.
- [8] Pasi Peltoniemi, "Phase Voltage Control and Filtering in a Converter-Fed Single-Phase Customer-End System of the LVDC Distribution Network", Ph.D dissertation, Lappeenranta Univ., 2010

감사의 글

본 연구는 2013년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제 (No. 20131010501750)입니다.



노철호 (Chul-Ho Noh)

1987년 12월 19일생. 2013년 성균관대 정보통신공학부 졸업, 2013년~현재 성균관대 정보통신공학부 박사과정

Tel : 031-290-7166

Fax : 031-299-4137

E-mail : elysium03@hotmail.com



오윤식 (Yun-Sik Oh)

1987년 7월 10일생. 2011년 성균관대학교 정보통신공학부 졸업, 2013년 동 대학원 정보통신공학부 졸업(석사), 2013년~현재 동 대학원 정보통신공학부 박사과정

Tel : 031-299-7166

Fax : 031-299-4137

E-mail : fivebal2@naver.com



권기현 (Gi-Hyeon Gwon)

1985년 9월 3일생. 2012년 성균관대 정보통신공학부 졸업, 2014년 동 대학원 정보통신공학부 졸업(석사), 2014년~현재 성균관대 정보통신공학부 박사과정

Tel : 031-290-7166

Fax : 031-299-4137

E-mail : elysium03@hotmail.com



김철환 (Chul-Hwan Kim)

1961년 1월 10일생. 1982년 성균관대 전기공학과 졸업, 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박), 현재 성균관대 정보통신대학 교수, 전력IT인력양성센터 센터장

Tel : 031-290-7124

Fax : 031-299-4137

E-mail : hmwkim@hanmail.net



송종일 (Jong-Il Song)

1989년 12월 22일생. 2015년 강원대학교 전기전자공학전공 졸업, 2015년~현재 성균관대학교 정보통신대학 에너지시스템공학협동과정 석사과정

Tel : 031-299-7166

Fax : 031-299-4137

E-mail : busker1222@gmail.com



한준 (Joon Han)

1986년 2월 7일생. 2011년 순천향대학교 정보통신공학부 졸업, 2013년 성균관대학교 대학원 정보통신공학부 졸업(석사), 2013년~현재 동 대학원 정보통신공학부 박사과정

Tel : 031-299-7166

Fax : 031-299-4137

E-mail : j3angh@gmail.com